

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
31. Mai 2018 (31.05.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2018/095743 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23K 26/03 (2006.01) G01J 5/60 (2006.01)  
G01J 5/00 (2006.01) B22F 3/105 (2006.01)  
G01J 5/20 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/078811

(22) Internationales Anmeldedatum:  
09. November 2017 (09.11.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2016 223 215.0  
23. November 2016 (23.11.2016) DE

(71) Anmelder: TRUMPF LASER- UND SYSTEMTECHNIK GMBH [DE/DE]; Johann-Maus-Strasse 2, 71254 Ditzingen (DE).

(72) Erfinder: SCHAAL, Frederik; Burgstrasse 29, 70734 Fellbach (DE). ALLENBERG-RABE, Matthias; Lengefeldweg 3, 70499 Stuttgart (DE). WUEST, Frank Peter; Hildrizhauser Strasse 3, 71083 Herrenberg (DE).

(74) Anwalt: TRUMPF PATENTABTEILUNG; TRUMPF GmbH & Co. KG, TH501 Patente und Lizenzen, Johann-Maus-Strasse 2, 71254 Ditzingen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,

(54) Title: IRRADIATING DEVICE AND MACHINE TOOL COMPRISING SAME

(54) Bezeichnung: BESTRAHLUNGSEINRICHTUNG UND BEARBEITUNGSMASCHINE DAMIT

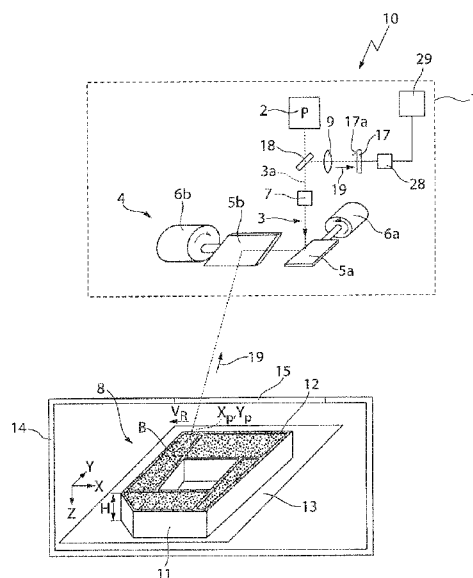


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to an irradiating device (1) for irradiating a machining field (8) with a machining beam, in particular with a laser beam (3), for carrying out a welding process. The irradiating device comprises a scanning device (4) for aligning the machining beam into a machining position ( $X_p$ ,  $Y_p$ ) in the machining field (8). The irradiating device (1) has an imaging device (9) for imaging a sub-region of the machining field (8) onto a pyrometer (17) which has at least two pyrometer segments. The imaging device (9) images thermal radiation (19) emanating from the machining position ( $X_p$ ,  $Y_p$ ) in the machining field (8) onto a first pyrometer segment, and the imaging device (9) images thermal radiation (19) emanating from a machining field (8) position located along an advancing direction ( $v_R$ ) of the machining beam in the machining field (8) in front of or behind the machining position ( $X_p$ ,  $Y_p$ ) onto at least one second pyrometer segment. The invention also relates to a machine tool (10) comprising such an irradiating device (1).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Bestrahlungseinrichtung (1) zum Bestrahlen eines Bearbeitungsfelds (8) mit einem Bearbeitungsstrahl, insbesondere mit einem Laserstrahl (3), für das Durchführen eines Schweißprozesses, umfassend: eine Scannereinrichtung (4) zum Ausrichten des Bearbeitungsstrahls auf eine Bearbeitungsposition ( $X_p$ ,  $Y_p$ ) in dem Bearbeitungsfeld (8). Die Bestrahlungseinrichtung (1) weist eine Abbildungseinrichtung (9) zur Abbildung eines Teilbereichs des Bearbeitungsfelds (8) auf ein Pyrometer (17) auf, welches mindestens zwei Pyrometer-Segmente aufweist, wobei die Abbildungseinrichtung (9) Wärmestrahlung (19), die von der Bearbeitungsposition ( $X_p$ ,  $Y_p$ ) in dem Bearbeitungsfeld (8) ausgeht, auf ein erstes Pyrometer-Segment abbildet, und wobei die Abbildungseinrichtung (9) Wärmestrahlung (19), die von einer Position in dem Bearbeitungsfeld (8) ausgeht, die sich entlang einer Vorschubrichtung ( $v_R$ ) des



WO 2018/095743 A1

KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

5

10

15

Bestrahlungseinrichtung und Bearbeitungsmaschine damit

20 Die vorliegende Erfindung betrifft eine Bestrahlungseinrichtung zum Bestrahlen eines Bearbeitungsfelds mit einem Bearbeitungsstrahl, insbesondere mit einem Laserstrahl, für das Durchführen eines Schweißprozesses, umfassend: eine Scannereinrichtung zum Ausrichten des Bearbeitungsstrahls auf eine Bearbeitungspolition in dem Bearbeitungsfeld. Die Erfindung betrifft auch eine  
25 zugehörige Bearbeitungsmaschine zum Herstellen von dreidimensionalen Bauteilen durch Bestrahlen von Pulverschichten mittels eines Bearbeitungsstrahls, insbesondere mittels eines Laserstrahls, wobei die Bearbeitungsmaschine eine Bestrahlungseinrichtung wie weiter oben beschrieben aufweist, um die Pulverschichten in einem Bearbeitungsfeld zu bestrahlen.

30

Für die Qualitätsüberwachung und die Regelung eines Prozesses zur Herstellung von dreidimensionalen Bauteilen durch das Bestrahlen von (metallischen) Pulverschichten, die schichtweise mit einem Bearbeitungsstrahl, beispielsweise mit einem Laserstrahl, verschmolzen werden („laser metal fusion“, LMF), ist es

erforderlich, den Schmelz- bzw. den Schweißprozess, insbesondere das Schmelzbad, das bei dem LMF-Prozess gebildet wird, zu überwachen. Die wichtigsten Kenngrößen hierfür sind die Temperaturen und die Temperaturgradienten beim Aufschmelzen und Erstarren der Schmelze, da diese die wesentlichen Bauteileigenschaften bestimmen. In der vorliegenden Anmeldung wird nicht zwischen einem Schweiß- und einem Sinterprozess unterschieden, vielmehr wird unter einem Schweißprozess auch ein Sinterprozess verstanden.

Diese Kenngrößen lassen sich mit herkömmlichen Sensoren zur Temperaturüberwachung in Form von Pyrometern oder in Form von Kameras nur unzureichend erfassen. Pyrometer sind optische Temperaturmessgeräte, die Wärmestrahlung aufnehmen, anhand derer die Temperatur bestimmt werden kann. Hierzu wird durch eine optische Abbildung die Wärmestrahlung aus einer Beobachtungsebene, im vorliegenden Fall der Bearbeitungsebene, auf ein Sensorelement, genauer gesagt auf eine Sensoroberfläche des Pyrometers abgebildet. Als Sensorelemente bzw. als Pyrometer werden üblicherweise Dioden verwendet, die nur einen Messpunkt bzw. nur eine Position in der Bearbeitungsebene erfassen und die eine hohe Empfindlichkeit, Messdynamik und Messrate besitzen. Beispielsweise kann bei derartigen Pyrometern ein Teil der Bearbeitungsebene bzw. ein Messfleck mit einem Durchmesser von 1 mm auf eine Diode abgebildet werden, wobei in diesem Fall die räumliche Auflösung bzw. der Messfleck deutlich größer ist als der Brennfleck (50 bis 100  $\mu\text{m}$ ). Zur flächenhaften Detektion werden Kameras verwendet, die typischerweise ein kartesisches Sensorarray bilden. Diese besitzen eine hohe räumliche Auflösung, aber nur eine niedrige Messrate, Messdynamik und Empfindlichkeit.

Für die Prozessüberwachung eines LMF-Prozesses sind durch die hohen Vorschubgeschwindigkeiten im Bereich von mehreren m/s Messraten im Bereich von 100 kHz notwendig. Die erforderliche Messdynamik ergibt sich durch die Unterschiede zwischen der Temperatur des Bauteils ( $\sim 200^\circ\text{C}$ ) und der Temperatur der flüssigen Schmelze ( $\sim 2000^\circ\text{C}$ ). Niedrige Temperaturen sind durch die geringe Intensität der Wärmestrahlung mit Hilfe von Pyrometrie schwieriger zu detektieren als hohe Temperaturen. Der gesamte Temperaturverlauf des Schweißprozesses um die Bearbeitungsposition herum kann daher mittels einer Kamera nicht bzw. nur

unzureichend detektiert werden. Existierende Verfahren konzentrieren sich daher auf die Schmelzbadtemperatur und die Schmelzbadgeometrie, die aufgrund der hohen Temperaturen einfacher zu erfassen sind als Bereiche außerhalb des Schmelzbades, was aber für eine sinnvolle Regelung des Prozesses in der Regel nicht ausreichend ist. Für Prozesse mit geringen Vorschubgeschwindigkeiten (z.B. Laserschweißen) sind kamerabasierte Sensoren bekannt, die sich aber nicht auf die hohen Messraten für den LMF-Prozess übertragen lassen.

Aus der WO 2013/021173 A1 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zum selektiven Kombinieren von partikelförmigem Material bekannt geworden, bei denen Strahlung verwendet wird, um einen Teilbereich eines Schichtmaterials zu sintern und auf diese Weise einen dreidimensionalen Körper zu erzeugen. In einem Ausführungsbeispiel wird ein Sensor verwendet, um die Temperatur des gesinterten Teilbereichs zu bestimmen. Bei dem Sensor kann es sich um eine Infrarot-Kamera, um ein einzelnes Pyrometer oder um ein Array von Pyrometern handeln. Zur Bereitstellung der Strahlung kann eine Mehrzahl von Strahlungsquellen dienen. Auch können ein Filter oder mehrere Filter bereitgestellt werden, um die von zumindest manchen der Mehrzahl von Strahlungsquellen erzeugte Strahlung zu filtern.

In der EP 3 023 757 A1 ist eine pyrometrische Detektionsvorrichtung zur Verwendung in einer Vorrichtung zur Herstellung dreidimensionaler Werkstücke bekannt geworden, wobei die Detektionseinrichtung zum Empfangen von thermischer Strahlung ausgebildet ist. Die pyrometrische Detektionseinrichtung kann einen ersten optischen Sensor und einen zweiten optischen Sensor aufweisen, wobei der erste und zweite optische Sensor konfiguriert sind, ein elektrisches Signal abzugeben, welches von einer Intensität der thermischen Strahlung in einem spezifischen Wellenlängenbereich abhängig ist. Optische Filter und/oder wellenlängenabhängige Strahlteiler können verwendet werden, um die einfallende thermische Strahlung in dem gewünschten Wellenlängenbereich zu einem jeweiligen Detektor zu leiten. Ein die Temperatur an der Emissionsstelle anzeigender Wert kann berechnet werden, indem ein Verhältnis zwischen dem elektrischen Signal des ersten optischen Sensors und dem elektrischen Signal des zweiten optischen Sensors berücksichtigt wird.

### Aufgabe der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Bestrahlungseinrichtung und eine Bearbeitungsmaschine mit einer solchen Bestrahlungseinrichtung bereitzustellen, die  
5 eine verbesserte Überwachung eines Schweißprozesses ermöglichen.

### Gegenstand der Erfindung

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Bestrahlungseinrichtung der  
10 eingangs genannten Art gelöst, weiter umfassend: eine Abbildungseinrichtung zur  
Abbildung eines Teilbereichs des Bearbeitungsfeldes auf ein Pyrometer, das  
mindestens zwei Pyrometer-Segmente aufweist, wobei die Abbildungseinrichtung  
Wärmestrahlung, die von der Bearbeitungsposition in dem Bearbeitungsfeld ausgeht,  
auf ein erstes Pyrometer-Segment abbildet, und wobei die Abbildungseinrichtung  
15 Wärmestrahlung, die von einer Position in dem Bearbeitungsfeld ausgeht, die sich  
entlang einer Vorschubrichtung des Bearbeitungsstrahls in dem Bearbeitungsfeld vor  
oder hinter der Bearbeitungsposition befindet, auf mindestens ein zweites Pyrometer-  
Segment abbildet. Die Abbildungseinrichtung kann ggf. einen Teil des Pyrometers  
20 bilden, dies ist aber nicht zwingend erforderlich. Bei der Abbildungseinrichtung  
handelt es sich im einfachsten Fall um eine Linse.

Das bei der hier beschriebenen Bestrahlungseinrichtung verwendete Pyrometer  
weist mindestens zwei Pyrometer-Segmente auf, und zwar typischer Weise ein  
erstes Pyrometer-Segment sowie eine Mehrzahl von zweiten Pyrometer-Segmenten,  
25 welche die berührungslose Erfassung der Temperatur an mehreren Positionen in  
dem Bearbeitungsfeld und aufgrund der erforderlichen hohen Messrate von mehr als  
ca. 100 kHz die Überwachung des Schweißprozesses in Echtzeit ermöglichen. Die  
Abbildungseinrichtung bildet zu diesem Zweck einen Teilbereich des  
Bearbeitungsfeldes, welcher die momentane Bearbeitungsposition bzw. den  
30 Brennfleck enthält, auf das Pyrometer ab. Der abgebildete, nicht zwingend  
kreisförmige Teilbereich des Bearbeitungsfeldes kann beispielsweise einen  
Durchmesser von ca. 2 bis ca. 10 mm aufweisen. Die Abbildungseinrichtung weist  
optische Komponenten bzw. Beschichtungen auf, die eine ausreichende  
Transmission für den von dem Pyrometer erfassten Wellenlängenbereich,

typischerweise den NIR-Wellenlängenbereich, aufweisen. Die Abbildungseinrichtung sollte zudem ausgebildet sein, feldabhängige und chromatische Aberrationen zu verringern. An einem jeweiligen Pyrometer-Segment wird die gesamte auftreffende Wärmestrahlung integral erfasst, d.h. ein jeweiliges Pyrometer-Segment stellt einen  
5 Flächenbereich dar, an dem die Wärmestrahlung typischerweise nicht orts aufgelöst erfasst werden kann.

Mit Hilfe des weiter oben beschriebenen Pyrometers können insbesondere die nachfolgend angegebenen Temperaturen in der Umgebung des Bearbeitungsstrahls  
10 erfasst werden: Die Pulvertemperatur in Vorschubrichtung vor der Bearbeitungsposition und somit die Pulveraufheizung bzw. das Aufheizen des Bauteils, der Temperaturgradient beim Pulveraufschmelzen, der charakteristisch ist für die effektive Leistung des Bearbeitungsstrahls, beispielsweise eines Laserstrahls, während des Prozesses, sowie die Abkühlrate (Mikrostruktur des Gefüges,  
15 Materialeigenschaften, Eigenspannungen, etc.). Bei einer ausreichend großen Anzahl von zweiten Pyrometer-Segmenten können Temperaturen bzw. Temperaturgradienten in der Umgebung des Bearbeitungsstrahls nicht nur entlang der Vorschubrichtung, sondern auch in anderen Richtungen, z.B. quer zur Vorschubrichtung, bestimmt werden. Beispielsweise kann beim flächigen  
20 Aufschmelzen des Pulverbetts, bei dem mehrere Wärmespuren erzeugt werden, die benachbart und parallel zueinander verlaufen, mit Hilfe von zweiten Pyrometer-Segmenten, die sich im Wesentlichen seitlich zur Vorschubrichtung erstrecken, zusätzlich zu einer Auswertung der momentan erzeugten Wärmespur auch Wärmestrahlung von den noch nicht vollständig abgekühlten benachbarten  
25 Wärmespuren detektiert bzw. abgebildet werden. Auf diese Weise können Temperaturgradienten bzw. es kann die Abkühlrate auch in den benachbarten, zuletzt bestrahlten Wärmespuren detektiert werden, d.h. über längere Zeiträume als im direkten Vor- bzw. Nachlauf zur Bearbeitungsposition. Das hier beschriebene Pyrometer bzw. die Bestrahlungseinrichtung lässt sich nicht nur für die Überwachung  
30 von Schweißprozessen in Bearbeitungsmaschinen zum Herstellen von dreidimensionalen Bauteilen sondern auch bei anderen Schweißprozessen, beispielsweise bei Laserschweißprozessen zur Bearbeitung von insbesondere plattenförmigen, metallischen Werkstücken oder zur Überwachung von anderen Hochtemperaturprozessen einsetzen.

Bei einer Ausführungsform sind das erste Pyrometer-Segment und das mindestens eine zweite Pyrometer-Segment an der Oberfläche einer segmentierten Diode gebildet oder das erste Pyrometer-Segment und das mindestens eine zweite Pyrometer-Segment stehen über eine jeweilige Strahlungstransporteinrichtung mit einer Diode in Verbindung. Durch die Verwendung von auf die hier beschriebene Weise ausgebildeten Pyrometern zur Detektion der Wärmestrahlung kann diese mit höherer Messrate, Messdynamik und Empfindlichkeit als bei einer Kamera erfasst werden. Die Pyrometer-Segmente können an einer segmentierten Diode realisiert werden, indem die Oberfläche der Diode in verschiedene elektrisch isolierte Segmente unterteilt wird. Für die Unterteilung können für die Herstellung von Dioden bekannte Mikrostrukturierungsprozesse verwendet werden, beispielsweise analog zur Herstellung von Quadrantendioden. Durch dünne Leiterbahnen kann in diesem Fall die elektrische Kontaktierung zum Rand der Diode und von dort mittels Drahtbonden auf eine Platine oder auf ein Gehäuse geführt werden. Die Kontaktierung der Rückseite der Diode ermöglicht die Realisierung einer gemeinsamen Anode oder Kathode. Die jeweiligen Signale der Pyrometer-Segmente der segmentierten Diode können durch entsprechende AD-Wandler digitalisiert und an eine Auswerte-/Regeleinheit weitergeleitet werden. Bei der Verwendung einer segmentierten Diode können mit Hilfe der Mikrostrukturierung der Diodenoberfläche zahlreiche und komplex geformte Dioden- bzw. Pyrometer-Segmente hergestellt werden. Um die Lichtempfindlichkeit der Pyrometer-Segmente zu maximieren und die Auswerteeinrichtung zu entlasten, sollte die Anzahl der Pyrometer-Segmente jedoch nicht zu groß gewählt werden.

Alternativ zur Realisierung der Pyrometer-Segmente an der Oberfläche einer segmentierten Diode können die Pyrometer-Segmente auf einer gemeinsamen Grundplatte angeordnet sein und über eine jeweilige Strahlungstransporteinrichtung mit einer Diode oder mit einem anderen wärmeempfindlichen Sensor in Verbindung stehen. In diesem Fall kann ein räumlich getrenntes Auffangen der Wärmestrahlung mittels mehrerer Strahlungstransporteinrichtungen in Form von geometrisch geeignet angeordneten Lichtleitkegeln, beispielsweise basierend auf Reflexion, Totalreflexion, Brechung oder diffraktiven Optiken, hin zu herkömmlichen Dioden oder zu anderen wärmeempfindlichen Sensoren erfolgen. Gegebenenfalls können die Pyrometer-

5 Segmente die Enden von geeignet angeordneten sowie geometrisch geeignet geformten Lichtwellenleitern bilden, die an einer gemeinsamen Grundplatte angeordnet sind und die zum räumlich getrennten Auffangen und Weiterleiten der Wärmestrahlung zu fasergekoppelten (Standard-)Dioden oder anderen wärmeleitenden Sensoren dienen.

10 Um die Temperaturen bei einem Schweißprozess, speziell bei einem LMF-Prozess, zu detektieren, hat es sich als günstig erwiesen, wenn strukturierte Diode(n) bzw. herkömmliche Dioden mit Empfindlichkeiten im Wellenlängenbereich von 1,5  $\mu\text{m}$  bis 2,2  $\mu\text{m}$  verwendet werden, beispielsweise InGaAs-Dioden.

15 Bei einer weiteren Ausführungsform umfasst die Bestrahlungseinrichtung zusätzlich eine zwischen dem Bearbeitungsfeld und dem ersten Pyrometer-Segment und/oder mindestens einem zweiten Pyrometer-Segment angeordnete Filtereinrichtung zur insbesondere wellenlängenabhängigen Abschwächung der Intensität der von dem Bearbeitungsfeld ausgehenden Wärmestrahlung. Die Verwendung einer wellenlängenselektiven Filtereinrichtung, welche die Intensität der Wärmestrahlung reduziert, bevor diese auf das erste Pyrometer-Segment auftrifft, ermöglicht es, mit dem ersten Pyrometer-Segment direkt die Wärmestrahlung an der  
20 Bearbeitungsposition zu detektieren. Gegebenenfalls können zwischen dem mindestens einen zweiten Pyrometer-Segment und dem Bearbeitungsfeld weitere, die Wärmestrahlung typischerweise weniger stark abschwächende Filtereinrichtungen angeordnet werden, um die Wärmestrahlung von abkühlendem bzw. noch zu schweißendem Material zu detektieren. Es versteht sich, dass  
25 insbesondere bei den zweiten Pyrometer-Segmenten nicht notwendigerweise eine Filtereinrichtung verwendet werden muss, um die Wärmestrahlung zu filtern. Durch die Verwendung von Filtereinrichtungen zur Filterung der Wärmestrahlung, die individuell einzelnen Pyrometer-Segmenten zugeordnet sind, kann auf günstige Weise die erforderliche Messdynamik für den zu überwachenden Temperaturbereich  
30 zwischen ca. 300°C und ca. 2000°C realisiert werden.

Die Filtereinrichtung für ein einzelnes Pyrometer-Segment kann als wellenlängenabhängiger Bandpassfilter ausgebildet sein. Der Bandpassfilter kann insbesondere für mindestens zwei unterschiedliche Wellenlängen durchlässig sein,

so dass die Wärmestrahlung bei mindestens zwei sich ausreichend voneinander unterscheidenden Wellenlängen detektiert werden kann. Dies ist günstig, da sich bei der Einwellenlängen-Pyrometrie, bei der die Wärmestrahlung im Wesentlichen bei einer Wellenlänge bestimmt wird, die absolute Temperatur nur bei Kenntnis der Emissivität des Werkstücks bestimmen lässt. Da beim LMF-Prozess Phasenumwandlungen (Pulver, Schmelze, Erstarrung) stattfinden, ist die jeweilige Emissivität in der Regel unbekannt. Durch die Mehrwellenlängen-Pyrometrie lässt sich die Temperatur ohne eine Emissivitäts-Konstante bestimmen.

Mehrwellenlängen-Pyrometer werden üblicherweise durch die Aufteilung des Beobachtungs-Strahlengangs mit Hilfe von Bandpass-Strahlteilern realisiert. Bei dem hier vorgeschlagenen Pyrometer kann/können die Filtereinrichtung(en) bei Pyrometer-Segmenten, die an der Oberfläche einer Diode oder ggf. einer gemeinsamen Grundplatte gebildet sind, durch das direkte Aufbringen einer Beschichtung auf die Pyrometer-Segmente realisiert werden. Bei geeigneter Auslegung der Eigenschaften der jeweiligen Filtereinrichtung kann die Wärmestrahlung bzw. das entsprechende Signal daher je Pyrometer-Segment bzw. je Messpunkt bei mehreren Wellenlängen aufgenommen werden, um eine direkte Bestimmung der Temperatur zu ermöglichen.

Bei einer weiteren Ausführungsform weisen mindestens zwei der Pyrometer-Segmente an der Oberfläche der strukturierten Diode oder mindestens zwei der über eine jeweilige Strahlungstransporteinrichtung mit unterschiedlichen Pyrometer-Segmenten verbundenen Detektoren, insbesondere in Form von Dioden, eine unterschiedliche wellenlängenabhängige Empfindlichkeit für die von dem Bearbeitungsfeld ausgehende Wärmestrahlung auf. Die Pyrometer-Segmente selbst oder die mit einem jeweiligen Pyrometer-Segment verbundenen Detektoren, insbesondere in Form von Dioden, können aus unterschiedlichen Materialien hergestellt sein, die eine jeweils unterschiedliche wellenlängenabhängige Empfindlichkeit für die auftreffende Wärmestrahlung aufweisen. Insbesondere können die Detektoren bzw. die Pyrometer-Segmente der strukturierten Diode eine jeweils unterschiedliche Maximums-Wellenlänge aufweisen, bei der die Empfindlichkeit für die auftreffende Wärmestrahlung maximal ist. Dies ist günstig, da wie oben beschrieben wurde der Temperaturbereich, in dem Wärmestrahlung detektiert werden soll, zwischen ca. 200°C und ca. 2000°C liegt, was einer

Verschiebung des Emissions-Maximums der Wärmestrahlung von ca. 1-5  $\mu\text{m}$  entspricht. Eine Anpassung des Materials des Detektors bzw. der Diode bzw. der Pyrometer-Segmente der segmentierten Diode an die Wellenlänge des Emissions-Maximums der Wärmestrahlung, die auf das jeweils zugehörige Pyrometer-Segment  
5 abgebildet wird, kann die Signalqualität bei der Detektion der Wärmestrahlung signifikant verbessern. Hierbei kann ausgenutzt werden, dass Dioden je nach Art des verwendeten (Halbleiter-)Materials eine unterschiedliche wellenlängenabhängige Empfindlichkeit aufweisen. Sind die Pyrometer-Segmente an der Oberfläche einer segmentierten Diode gebildet, können unterschiedliche Halbleiter-Materialien in Form  
10 von Diodenplättchen aneinander gebondet werden. Sind die Pyrometer-Segmente an einer gemeinsamen Oberfläche angeordnet und über eine jeweilige Strahlungstransporteinrichtung z.B. in Form von Lichtwellenleitern mit einem jeweiligen Detektor verbunden, können Detektortypen mit unterschiedlicher wellenlängenabhängiger Empfindlichkeit bzw. unterschiedliche Arten von Dioden  
15 bzw. von Dioden-Materialien verwendet werden.

Bei einer Weiterbildung weist das erste Pyrometer-Segment der strukturierten Diode oder der mit dem ersten Pyrometer-Segment verbundene Detektor eine maximale Empfindlichkeit bei einer Maximums-Wellenlänge auf, die kleiner ist als die  
20 Maximums-Wellenlänge mindestens eines der zweiten Pyrometer-Segmente der strukturierten Diode oder mindestens eines mit einem zweiten Pyrometer-Segment verbundenen Detektors. Wie weiter oben beschrieben wurde, wird auf unterschiedliche Pyrometer-Segmente je nach deren Anordnung auf der Pyrometer-Oberfläche Wärmestrahlung aus unterschiedlichen Temperaturbereichen abgebildet.  
25 Auf das erste Pyrometer-Segment wird Wärmestrahlung mit den größten Temperaturen und somit mit einem Emissions-Maximum bei den kleinsten Wellenlängen abgebildet. Daher ist es günstig, wenn die Maximums-Wellenlänge des ersten Pyrometer-Segments bzw. des mit diesem verbundenen Detektors kleiner ist als die Maximums-Wellenlänge(n) der zweiten Pyrometer-Segmente. Für den Fall,  
30 dass die zweiten Pyrometer-Segmente in mehreren Ringsegmenten um das zentrale erste Pyrometer-Segment angeordnet sind, nimmt die Temperatur der auftreffenden Wärmestrahlung mit zunehmendem Abstand zum zentralen ersten Pyrometer-Segment ab. Entsprechend kann es alternativ oder zusätzlich zur oben beschriebenen Maßnahme günstig sein, für zweite Pyrometer-Segmente, die in

einem weiter außen liegenden Ringbereich angeordnet sind, Materialien zu verwenden, bei denen die Maximums-Wellenlänge bei größeren Wellenlängen liegt als bei zweiten Pyrometer-Segmenten, die in einem weiter innen liegenden Ringbereich angeordnet sind.

5

Bei einer weiteren Ausführungsform weisen das erste Pyrometer-Segment und/oder das zweite Pyrometer-Segment eine Außenkontur mit mindestens einer gekrümmten, insbesondere kreisbogenförmigen Kante auf. Wie weiter oben beschrieben wurde, können die Pyrometer-Segmente von einer rechteckigen bzw. quadratischen Geometrie abweichen, um die Detektion der Wärmestrahlung zu verbessern. Auf diese Weise kann die Anzahl der Pyrometer-Segmente pro Flächeneinheit und die Auswerteeinrichtung bzw. die Auswerteelektronik derartig gestaltet werden, dass für den LMF-Prozess Pyrometerdaten mit ausreichend hoher Messrate, Dynamik, Empfindlichkeit und räumlicher Auflösung erzeugt werden. Zusätzlich kann auf diese Weise auch die Datenrate reduziert werden.

10

15

Bei einer weiteren Ausführungsform ist das erste Pyrometer-Segment kreisförmig. Dies ist günstig, um nur die Wärmestrahlung des in der Regel ebenfalls kreisförmigen Brennflecks detektieren zu können. Die Abbildungseinrichtung ist typischerweise derart ausgebildet, dass die Dimension bzw. der Durchmesser des Brennflecks (unter Berücksichtigung des Abbildungsmaßstabs) ungefähr dem Durchmesser des ersten Pyrometer-Segments entspricht. Auf diese Weise wird erreicht, dass die zweiten Pyrometer-Segmente die Wärmestrahlung außerhalb des Brennflecks detektieren können.

20

25

Bei einer weiteren Ausführungsform weist das Pyrometer mindestens zwei zweite Pyrometer-Segmente auf, die als Ringsegmente ausgebildet sind. Bei einem Schweißprozess, insbesondere bei einem LMF-Prozess, wird der Bearbeitungsstrahl in der Bearbeitungsebene in alle Richtungen verfahren bzw. gedreht, so dass sich die Wärmespur bzw. das Schmelzbad im Sichtfeld, d.h. in dem mittels der Abbildungseinrichtung abgebildeten Teilbereich des Bearbeitungsfeldes, dreht. Um zwischen Wärmestrahlung, die von einer Position in Bearbeitungsrichtung vor der Bearbeitungsposition ausgeht und Wärmestrahlung, die von einer Position in Bearbeitungsrichtung hinter der Bearbeitungsposition ausgeht, zu unterscheiden,

30

genügt - sofern der Fahrweg im Sichtfeld des Pyrometers näherungsweise als linear angenommen werden kann - eine Diskriminierung der Pyrometer-Segmente um  $180^\circ$ , d.h. es ist ausreichend, zwei Ringsegmente zu verwenden, die sich jeweils in Umfangsrichtung über einen Winkelbereich von ca.  $180^\circ$  erstrecken und die unmittelbar aneinander angrenzen. Sofern die Vorschubrichtung mit dem Trennsteg bzw. der Grenze zwischen den beiden Pyrometer-Segmenten zusammenfällt, führt dieses Vorgehen allerdings dazu, dass die beiden unmittelbar benachbarten ringförmigen Pyrometer-Segmente beide mit Wärmestrahlung beaufschlagt werden, was das Messergebnis verfälscht.

10

Um eine zuverlässige Diskriminierung der Wärmestrahlung, die von einer Position vor der Bearbeitungsposition ausgeht, von Wärmestrahlung, die von einer Position hinter der Bearbeitungsposition ausgeht, vorzunehmen, sind daher mindestens drei Pyrometer-Segmente erforderlich, die beispielsweise als Ringbereiche ausgebildet sein können, die sich über einen Winkelbereich von ca.  $120^\circ$  erstrecken, es können aber auch vier Pyrometer-Segmente verwendet werden, die sich über einen Winkelbereich von ca.  $90^\circ$  erstrecken. Eine höhere Anzahl an Pyrometer-Segmenten bzw. Zonen ermöglicht eine höhere räumliche Aufteilung bzw. Auflösung und damit auch das Trennen der Temperatursignaturen von beim LMF-Prozess erzeugten Wärmespuren, die benachbart zur momentan erzeugten Wärmespur verlaufen und die noch nicht hinreichend stark abgekühlt sind, so dass diese ebenfalls Wärmestrahlung abgeben. Bei der Auslegung des Layouts und der Anzahl der Segmente des Pyrometers muss zwischen räumlicher Auflösung, Empfindlichkeit und Komplexität der Auswertung ein Ausgleich gefunden werden.

25

Bei einem LMF-Prozess kann auch das Pulverbett bzw. die Pulverschicht vor der Bearbeitungsposition bzw. dem Brennfleck aufgeheizt werden, wenn es in der darunter liegenden Pulverschicht einen Schmelzprozess gab, oder weil die Bearbeitungskammer auf eine möglichst hohe Temperatur vorgeheizt wird, um möglichst geringe Spannungen in dem herzustellenden dreidimensionalen Bauteil zu erzeugen. Durch die Unterscheidung zwischen Wärmestrahlung, die von einer Position vor der Bearbeitungsposition und einer Position nach der Bearbeitungsposition ausgeht, können sowohl die Temperatur in dem Pulverbett vor dem Prozess bzw. vor der Bearbeitungsposition als auch die Temperatur bzw. die

30

Abkühlrate nach dem Prozess, d.h. nach der Bearbeitungsposition, bestimmt werden.

Bei einer weiteren Ausführungsform sind die als Ringsegmente ausgebildeten  
5 zweiten Pyrometer-Segmente drehsymmetrisch um das erste Pyrometer-Segment  
angeordnet. Wie weiter oben beschrieben wurde, dreht sich die Wärmespur bei LMF-  
Prozessen in alle Richtungen, so dass eine rotationssymmetrische Anordnung der  
Pyrometer-Segmente vorteilhaft ist. Da die Bearbeitungsposition bzw. der Brennfleck  
10 in der Regel stets auf das erste Pyrometer-Segment abgebildet wird, welches  
ortsfest im Zentrum des Pyrometers bzw. der Pyrometer-Fläche angeordnet ist, an  
der die Pyrometer-Segmente gebildet sind, können mittels der umliegenden zweiten  
Pyrometer-Segmente u.a. die Geometrie und die Fläche des Schmelzbades  
bestimmt werden. Durch die hohe Temperatur im Brennfleck und das daraus  
15 resultierende starke thermische Signal können die zweiten Pyrometer-Segmente in  
diesem Fall auch mit vergleichsweise kleinem Flächeninhalt ausgebildet werden.

Bei einer weiteren Ausführungsform sind die zweiten Pyrometer-Segmente in  
mehreren konzentrischen Ringen angeordnet. Die Verwendung von mehreren  
konzentrischen Ringen ermöglicht es, die Wärmestrahlung bzw. die Temperatur an in  
20 mehreren in unterschiedlichen Abständen zur Bearbeitungsposition angeordneten  
Positionen innerhalb des Bearbeitungsfelds zu bestimmen und dadurch die  
Ortsauflösung bei der Bestimmung der Temperatur bzw. der Temperaturgradienten  
zu erhöhen.

Bei einer Ausführungsform ist das Pyrometer in einem koaxial zum  
Bearbeitungsstrahl verlaufenden Beobachtungsstrahlengang angeordnet, d.h. der  
Beobachtungsstrahlengang und der Bearbeitungsstrahl verlaufen koaxial zueinander  
(und in entgegengesetzter Richtung), bis der Beobachtungsstrahlengang aus dem  
Bearbeitungsstrahl ausgekoppelt wird. Die Auskopplung kann beispielsweise an  
30 einem Strahlteiler erfolgen, wobei der Strahlteiler typischerweise zwischen der  
Scannereinrichtung und dem Pyrometer angeordnet ist. Auf diese Weise verläuft der  
Beobachtungsstrahlengang stets über die Scannereinrichtung, unabhängig davon,  
an welche Bearbeitungsposition der Bearbeitungsstrahl von der Scannereinrichtung  
ausgerichtet wird. Auf diese Weise wird das Messfeld, d.h. der auf das Pyrometer

abgebildete Teilbereich des Bearbeitungsfeldes, mit der Bearbeitungsposition verfahren werden, d.h. es wird unabhängig von der Bearbeitungsposition in dem Bearbeitungsfeld die Wärmestrahlung von der Bearbeitungsposition auf das erste Pyrometer-Segment abgebildet.

5

Bei einer weiteren Ausführungsform umfasst die Bestrahlungseinrichtung eine Steuer- und/oder Regeleinrichtung zur Vorgabe der Vorschubrichtung bei der Bewegung des Bearbeitungsstrahls über das Bearbeitungsfeld. Wie weiter oben beschrieben wurde, wird der Bearbeitungsstrahl mittels der Scannereinrichtung an unterschiedliche Bearbeitungspositionen auf dem Bearbeitungsfeld geführt, wobei die momentane Scanrichtung und somit die Vorschubrichtung in dem Bearbeitungsfeld typischerweise ortsabhängig variiert, und zwar in Abhängigkeit von dem herzustellenden dreidimensionalen Bauteil. Es versteht sich, dass die Steuer- und/oder Regeleinrichtung auch andere Parameter des LMF-Prozesses, beispielsweise die Intensität des Bearbeitungsstrahls und somit die Temperatur an der Bearbeitungsposition steuert bzw. regelt.

Bei einer weiteren Ausführungsform umfasst die Bestrahlungseinrichtung eine Auswerteeinrichtung, die ausgebildet ist, anhand der vorgegebenen Vorschubrichtung zweite Pyrometer-Segmente zu identifizieren, die in Vorschubrichtung vor oder hinter der Bearbeitungsposition angeordnet sind. Wie weiter oben beschrieben wurde, wird der Bearbeitungsstrahl in der Bearbeitungsebene in alle Richtungen verfahren bzw. gedreht, so dass sich die Wärmespur bzw. das Schmelzbad im Sichtfeld bzw. in dem mittels der Abbildungseinrichtung abgebildeten Teilbereich des Bearbeitungsfeldes dreht. Bei der Verwendung von zweiten Pyrometer-Segmenten, die z.B. als Ringsegmente ausgebildet sind, befindet sich bei einer vorgegebenen Vorschubrichtung typischerweise nur ein einziges Pyrometer-Segment des jeweiligen Ringes in Vorschubrichtung vor der Bearbeitungsposition und nur ein einziges Ringsegment in Vorschubrichtung hinter der Bearbeitungsposition. Es versteht sich, dass zusätzlich zu den Pyrometer-Segmenten, die sich in Vorschubrichtung vor bzw. hinter der Bearbeitungsposition befinden, ggf. weitere zweite Pyrometer-Segmente ausgewertet werden können, um weitere Temperaturwerte zu bestimmen und auf diese Weise die Ortsauflösung bei der Bestimmung der Temperatur zu erhöhen.

Bei einer weiteren Ausführungsform ist die Auswerteeinrichtung zur Bestimmung einer Temperatur an der Bearbeitungsposition, einer Temperatur an einer Position in dem Bearbeitungsfeld vor der Bearbeitungsposition und/oder an einer Position in dem Bearbeitungsfeld hinter der Bearbeitungsposition und bevorzugt zur

5 Bestimmung mindestens eines Temperaturgradienten anhand von mindestens zwei der Temperaturen ausgebildet. Die Bestimmung der Temperatur bzw. von Temperaturgradienten ermöglicht es, folgende zusätzliche Informationen über den LMF-Prozess zu erhalten: Die Pulvertemperatur in Vorschubrichtung vor der

10 Bearbeitungsposition, d.h. die Pulveraufheizung bzw. das Aufheizen des Bauteils durch den LMF-Prozess, den Gradienten beim Pulveraufschmelzen, d.h. die effektive Leistung im LMF-Prozess, die Temperatur im Schmelzbad (Überhitzung) sowie die Abkühlrate, d.h. die Mikrostruktur des Gefüges, die Materialeigenschaften sowie die Eigenspannungen des Materials. Diese Informationen können sowohl zur Beurteilung

15 des Bearbeitungsergebnisses (Prozessmonitoring) als auch zur Prozessregelung verwendet werden. Beispielsweise kann durch die Messung der Pulvertemperatur vor der Bearbeitungsposition die Leistung des Bearbeitungsstrahls bzw. des Laserstrahls rechtzeitig angepasst werden. Hierdurch können Inhomogenitäten der Pulvervorheizung sowie das ungleichmäßige Bauteilaufheizen (z.B. durch

20 Querschnittsänderungen) korrigiert werden. Durch Betrachten der Abkühlrate bzw. der gesamten thermischen Historie des Bauteils kann z.B. die Entstehung von Eigenspannungen und die Homogenität des Prozesses beurteilt werden. Auch eine Messung der lokalen Pulvervorheizung bei geringen Temperaturen von ca. 300°C und darüber ist möglich. Auch kann auf diese Weise eine Trennung der Einflüsse der

25 Wärmeleitung, der eingebrachten Strahlungsleistung sowie der Scan- bzw. Vorschubgeschwindigkeit vorgenommen werden.

Bei einer weiteren Ausführungsform ist die Steuer- und/oder Regeleinrichtung ausgebildet, die Leistung des Bearbeitungsstrahls in dem Bearbeitungsfeld und/oder

30 die Vorschubgeschwindigkeit anhand der mindestens einen von der Auswerteeinrichtung bestimmten Temperatur und/oder anhand des mindestens einen Temperaturgradienten zu regeln. Wie weiter oben beschrieben wurde, kann beispielsweise anhand der Temperatur des Pulvers an einer Position vor der Bearbeitungsposition des Bearbeitungsstrahls, d.h. anhand des Vorlaufs, und/oder

anhand der Temperatur bzw. eines Temperaturgradienten hinter der  
Bearbeitungsposition des Bearbeitungsstrahls die Leistung des Bearbeitungsstrahls  
angepasst, d.h. erhöht oder reduziert werden, bevor der Bearbeitungsstrahl die  
Bearbeitungsposition erreicht, um Inhomogenitäten bei der Pulveraufheizung  
5 instantan, d.h. in Echtzeit, zu korrigieren. Alternativ oder zusätzlich kann ein  
Temperaturgradient, beispielsweise in Form der Abkühlrate, bestimmt werden, um  
festzustellen, wie viel Wärme im Bauteil bzw. im Pulverbett beim Aufschmelzen einer  
Schicht des Pulverbetts gespeichert wird. Für das Aufschmelzen der nachfolgenden  
Pulverschicht bzw. -lage können andere Bearbeitungsparameter verwendet werden,  
10 beispielsweise können die Laserparameter, insbesondere die Laserleistung,  
und/oder die Vorschubgeschwindigkeit geeignet angepasst werden.

Bei einem flächigen Aufschmelzen des Pulverbetts, d.h. beim Belichten einer  
zusammenhängenden Fläche, werden mehrere Wärmespuren erzeugt, die  
15 benachbart und parallel zueinander verlaufen. In diesem Fall können Pyrometer-  
Segmente, die sich im Wesentlichen seitlich zur Vorschubrichtung erstrecken,  
zusätzlich zu einer Auswertung der momentan erzeugten Wärmespur auch  
Wärmestrahlung von den noch nicht vollständig abgekühlten benachbarten  
Wärmespuren detektieren bzw. abbilden. Auf diese Weise können  
20 Temperaturgradienten und/oder die Abkühlrate auch in der bzw. den benachbarten,  
zuletzt bestrahlten Wärmespuren detektiert werden und diese Informationen können  
für die Regelung von Bearbeitungsparametern, beispielsweise der Leistung des  
Bearbeitungslaserstrahls und/oder der Vorschubgeschwindigkeit, bei der Erzeugung  
der momentanen Wärmespur herangezogen werden. Eine solche Regelung erfolgt  
25 nicht in Echtzeit und ist daher einfach umsetzbar.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft eine Bearbeitungsmaschine zum Herstellen  
von dreidimensionalen Bauteilen durch Bestrahlen von Pulverschichten mittels eines  
Bearbeitungsstrahls, insbesondere mittels eines Laserstrahls, wobei die  
30 Bearbeitungsmaschine eine Bestrahlungseinrichtung wie weiter oben beschrieben  
sowie eine Bearbeitungskammer mit einem Träger zum Aufbringen der  
Pulverschichten aufweist. Die Bestrahlungseinrichtung ist von der  
Bearbeitungskammer typischerweise über ein Schutzglas oder dergleichen getrennt,  
durch welches der Bearbeitungsstrahl in die Bearbeitungskammer eintritt. Die

Bestrahlungseinrichtung ist typischerweise bezüglich der Bearbeitungskammer derart angeordnet, dass das Bearbeitungsfeld der Scannereinrichtung, in dem der Bearbeitungsstrahl fokussiert wird, mit der Position einer Pulverschicht übereinstimmt, die mittels des Bearbeitungsstrahls bestrahlt werden soll. Es versteht sich, dass die Bearbeitungsmaschine noch weitere Bauelemente aufweist, die das Aufbringen der einzelnen Pulverschichten ermöglichen. In der Bearbeitungskammer kann ggf. ein gegenüber der Umgebung reduzierter Druck bzw. ein Vakuum herrschen, sie kann aber auch mit einem inerten Gas gefüllt sein, das nicht mit dem Pulver reagiert.

10

Wie weiter oben beschrieben wurde, ist die Vorschub- bzw. die Scangeschwindigkeit bei einem LMF-Prozess sehr groß, so dass die für herkömmliche Bearbeitungsprozesse, beispielsweise für herkömmliche Laserschweißprozesse, mit vergleichsweise geringen Vorschubgeschwindigkeiten vorhandenen Lösungen nicht anwendbar sind: Beispielsweise kann bei herkömmlichen Laserschweißprozessen durch eine Erhöhung der Messdynamik der Kamera eine Temperaturmessung mit Hilfe von Mehrfachbelichtungen erfolgen, was aufgrund der vergleichsweise hohen Scangeschwindigkeiten beim LMF-Prozess nicht möglich ist. Bei einem LMF-Prozess wird das Schmelzbad bei bekannten Lösungen vielmehr mit Hilfe von Kamerasystemen (IR- oder sichtbarer Wellenlängenbereich) und/oder mit Hilfe von Dioden aufgenommen. Auf diese Weise werden aber lediglich die Temperatur und die Geometrie des Schmelzbads erfasst. Das für die Bauteileigenschaften wichtige Abkühlverhalten sowie der Aufheizvorgang des Pulvers kann hierbei nicht gemessen werden; dies wird erst durch die weiter oben beschriebene Bestrahlungseinrichtung ermöglicht. Anhand der auf die weiter oben beschriebene Weise ermittelten Pulvertemperatur, der Temperaturen beim Aufheizen und/oder beim Abkühlen kann bei der hier beschriebenen Bearbeitungsmaschine eine Regelung des LMF-Prozesses erreicht werden. Auch wird idealerweise die Messung von vollständigen Temperaturverläufen an jeder Position bzw. Stelle des zu erzeugenden dreidimensionalen Bauteils ermöglicht. Dies wird durch eine höhere Messdynamik, eine höhere Empfindlichkeit bei der Messung der Wärmestrahlung, eine aufgrund der geringeren Anzahl von Pixeln geringere Datenrate als bei herkömmlichen Kameras sowie eine damit einhergehende schnellere Messrate erreicht.

30

Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter aufgeführten Merkmale je für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung.

Es zeigen:

- 10 Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Bearbeitungsmaschine mit einer Bestrahlungseinrichtung zum Bestrahlen eines Bearbeitungsfelds,
- Fig. 2 eine Darstellung eines Teilbereichs des Bearbeitungsfelds mit einem Schmelzbad und mit einem Brennfleck, an dem eine Bearbeitungsposition gebildet ist,
- 15
- Fig. 3a,b Darstellungen eines Pyrometers mit einem ersten, zentralen Pyrometer-Segment und mit 16 bzw. mit 199 zweiten Pyrometer-Segmenten, die das erste, zentrale Pyrometer-Segment umgeben, wobei die Pyrometer-Segmente an der Oberfläche einer segmentierten Diode gebildet sind, sowie
- 20
- Fig. 4 eine Darstellung eines Pyrometers mit einer Grundplatte, die eine Mehrzahl von Pyrometer-Segmenten aufweist, sowie mit einer Strahlungstransporteinrichtung zum Transport von Wärmestrahlung zu einer Diode.
- 25

In der folgenden Beschreibung der Zeichnungen werden für gleiche bzw. funktionsgleiche Bauteile identische Bezugszeichen verwendet.

30

**Fig. 1** zeigt einen beispielhaften Aufbau einer Bestrahlungseinrichtung 1, die eine Strahlquelle 2 in Form einer Laserquelle, beispielsweise in Form eines Nd:YAG-Lasers oder eines Faserlasers, zur Erzeugung eines Bearbeitungsstrahls in Form

eines Laserstrahls 3 aufweist. Eine Scannereinrichtung 4 weist einen ersten und einen zweiten Scannerspiegel 5a, 5b auf, die mittels zugehöriger Drehantriebe 6a, 6b um zwei Drehachsen drehbar sind, die im gezeigten Beispiel mit der X-Richtung bzw. mit der Y-Richtung eines XYZ-Koordinatensystems übereinstimmen. Im

5 Strahlengang vor der Scannereinrichtung 4 ist eine (adaptive) Fokussiereinrichtung 7 angeordnet, welche eine Fokussierung des Laserstrahls 3 vornimmt, um den von der Scannereinrichtung 4 abgelenkten Laserstrahl 3 in einem Bearbeitungsfeld 8 zu fokussieren, sowie um den Laserstrahl 3 an einer gewünschten Bearbeitungsposition  $X_P$ ,  $Y_P$  auf dem Bearbeitungsfeld 8 auszurichten.

10

Die Bestrahlungseinrichtung 1 ist Teil einer Bearbeitungsmaschine 10, die zum Herstellen von dreidimensionalen Bauteilen 11 verwendet wird. Das Bearbeitungsfeld 8 entspricht einer XY-Ebene, in der eine in Fig. 1 gezeigte oberste Pulverschicht 12 eines auf einen Träger 13, genauer gesagt auf eine Trägerplatte, aufgebrauchten

15 Pulverbetts angeordnet ist. Der Träger 13 ist in einer Bearbeitungskammer 14 angeordnet, die ein Sichtfenster 15 für den Durchtritt des Laserstrahls 3 aufweist.

15

Die (adaptive) Fokussiereinrichtung 7 dient unter anderem dazu, die Strahlachse Z des aus der Fokussiereinrichtung 7 austretenden Laserstrahls 3 unabhängig von der

20 Bearbeitungsposition  $X_P$ ,  $Y_P$  auf dem Bearbeitungsfeld 8, welches bei einer geeigneten Positionierung der Bestrahlungseinrichtung 1 mit der XY-Ebene der in einer vorgegebenen Höhe H über dem Träger 13 angeordneten Pulverschicht 12 übereinstimmt, im Wesentlichen senkrecht zur XY-Ebene bzw. zur Pulverschicht 12 auszurichten. Es versteht sich, dass die Pulverschicht 12 anders als in Fig. 1 gezeigt

25 ist nicht nur auf die Oberseite des bereits fertiggestellten Teils des dreidimensionalen Bauteils 11 begrenzt ist, sondern vielmehr die oberste Schicht eines Pulverbettes bildet, welches sich über die gesamte Oberseite des Trägers 13 bis zur Höhe H erstreckt. Für die Ausrichtung des Laserstrahls 3 im Wesentlichen senkrecht zur XY-Ebene kann alternativ oder zusätzlich zur Fokussiereinrichtung 7 auch ein F/theta-

30 Objektiv verwendet werden.

25

30

Die Pulverschicht 12, genauer gesagt der in Fig. 1 gezeigte Bereich der Pulverschicht 12, welcher für das Herstellen einer zusätzlichen Schicht des dreidimensionalen Bauteils 11 bestrahlt werden soll und welcher daher mit der

Geometrie des herzustellenden Bauteils 11 übereinstimmt, wird bei dem in Fig. 1 gezeigten Beispiel von der Bearbeitungsmaschine 10, beispielsweise von einer Steuer- und/oder Regelungseinrichtung 29 der Bestrahlungseinrichtung 1, in vier in Fig. 1 gezeigte flächenhafte Teilbereiche sowie in einen weiteren Teilbereich

5 aufgeteilt, der im Wesentlichen die inneren und äußeren Konturlinien des Bauteils 11 auf der entsprechenden Höhe H sowie weitere innen liegende Konturlinien enthält, welche die vier flächenhaften Teilbereiche auf der entsprechenden Höhe H voneinander separieren.

10 Wie in Fig. 1 angedeutet ist, wird der Laserstrahl 3 in dem Bearbeitungsfeld 8 entlang einer Vorschubrichtung  $v_R$  bzw. einer Scanrichtung bewegt, welche im gezeigten Beispiel der negativen X-Richtung entspricht. Wärmestrahlung 19, die von einem kreisförmigen Teilbereich 16 des Bearbeitungsfeldes 8 ausgeht, welcher in **Fig. 2** dargestellt ist, wird von einer Abbildungseinrichtung in Form einer Relay-Optik 9

15 beispielsweise in Form eines Objektivs, welche in Fig. 1 zur Vereinfachung als Linse dargestellt ist, auf ein in Fig. 1 gezeigtes Pyrometer 17 abgebildet. Hierbei wird der Strahlengang des Laserstrahls 3 entlang eines Beobachtungsstrahlengangs 3a von der Wärmestrahlung 19 in umgekehrter Richtung durchlaufen und die Wärmestrahlung 19 wird an einem Strahlteilerspiegel 18 aus dem Strahlengang des

20 Laserstrahls 3 ausgekoppelt. Das Pyrometer 17 ist zentrisch im Beobachtungsstrahlengang 3a der Wärmestrahlung 19 angeordnet, so dass die Abbildungseinrichtung 9 Wärmestrahlung 19, die von der Bearbeitungsposition  $X_P$ ,  $Y_P$  in dem Teilbereich 16 ausgeht, auf ein erstes, kreisförmiges Pyrometer-Segment 20 des in **Fig. 3a** in einer Draufsicht gezeigten Pyrometers 17 abbildet.

25 Das erste Pyrometer-Segment 20 ist von mehreren zweiten Pyrometer-Segmenten 21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d umgeben, die in vier konzentrischen Ringen R1 bis R4 um das erste Pyrometer-Segment 20 angeordnet sind. Der in Fig. 2 gezeigte Teilbereich 16 des Bearbeitungsfeldes 8 wird mit Hilfe der Abbildungseinrichtung 9 auf

30 die von den ersten und zweiten Pyrometer-Segmenten 20, 21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d des Pyrometers 17 überdeckte kreisförmige Fläche abgebildet. Der Abbildungsmaßstab wird hierbei derart gewählt, dass der Durchmesser des Brennflecks B im Wesentlichen mit dem Durchmesser des ersten Pyrometer-Segments 20 übereinstimmt.

Die zweiten Pyrometer-Segmente 21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d sind jeweils als Ringsegmente ausgebildet und erstrecken sich jeweils über einen Winkel von  $90^\circ$  in Umfangsrichtung, d.h. jeweils über einen Quadranten. Die zweiten Pyrometer-Segmente 21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d sind drehsymmetrisch um das erste Pyrometer-Segment 20 angeordnet.

Wie beispielhaft für das in Fig. 3a links dargestellte zweite Pyrometer-Segment 21a des ersten Ringbereichs R1 gezeigt ist, weisen die als Ringsegmente ausgebildeten zweiten Pyrometer-Segmente 21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d jeweils ein Außenkontur mit einer radial innen liegenden kreisbogenförmigen Außenkante 27a sowie einer radial außen liegenden kreisbogenförmigen Außenkante 27b auf, die durch zwei sich in radialer Richtung erstreckende geradlinige Außenkanten miteinander verbunden sind.

Bei dem in Fig. 3a gezeigten Beispiel ist das Pyrometer als segmentierte Diode 17 ausgebildet und die Pyrometer-Segmente 20, 21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d sind an deren Oberfläche 17a (vgl. Fig. 1) gebildet. Bei einem Pyrometer in Form einer segmentierten Diode 17 können das kreisförmige erste Pyrometer-Segment 20 sowie die zweiten Pyrometer-Segmente 21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d mit Hilfe einer Mikrostrukturierung der Oberfläche 17a der Diode 17 erzeugt werden, so dass diese elektrisch getrennt kontaktiert werden können. Es versteht sich, dass durch eine Mikrostrukturierung der Diode 17 auch geometrisch auf andere Weise als in Fig. 3a geformte erste und zweite Pyrometer-Segmente 20, 21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d hergestellt werden können.

Der in Fig. 2 gezeigte überwachte Bereich 16 enthält den Brennfleck B, an dem der Laserstrahl 3 auf die Pulverschicht 12 trifft und in dessen Mitte die Bearbeitungsposition  $X_P$ ,  $Y_P$  gebildet ist, sowie einen vorderen Abschnitt des Schmelzbads S, in dem sich geschmolzenes Pulver gebildet hat. An das Schmelzbad S schließt sich entgegen der Vorschubrichtung  $v_R$ , d.h. in Fig. 2 rechts, die Wärmespur mit dem erkaltenden Pulvermaterial an, die sich im gezeigten Beispiel nicht innerhalb des Teilbereichs 16 des Bearbeitungsfelds 8 befindet.

Die Temperatur  $T_P$  an der Bearbeitungsposition  $X_P$ ,  $Y_P$  liegt typischerweise in der Größenordnung von ca. 2000°C und stellt die maximale Temperatur des Schweißprozesses dar, während die Temperatur in der Umgebung des Brennflecks B deutlich niedriger ist, weshalb auch die Intensität der auf das Pyrometer 17 auftreffenden Wärmestrahlung 19 deutlich geringer ausfällt als am Brennfleck B. Es kann günstig sein, wenn im Strahlweg zwischen dem Bearbeitungsfeld 8 und dem ersten Pyrometer-Segment 20 und/oder mindestens einem der zweiten Pyrometer-Segmente 21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d eine Filtereinrichtung angeordnet ist, um die von dem Teilbereich 16 bzw. von dem Bearbeitungsfeld 8 ausgehende Wärmestrahlung 19 abzuschwächen.

Bei dem Pyrometer in Form der strukturierten Diode 17 können derartige Filtereinrichtungen in Form einer Beschichtung auf einzelne der Pyrometer-Segmente 20, 21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d aufgebracht werden. In Fig. 3a ist eine solche Filtereinrichtung 26, welche in Form einer Beschichtung auf das erste, zentrale Pyrometer-Segment 20 aufgebracht ist, durch eine Schraffur angedeutet. Die Filtereinrichtung 26 dient dazu, die Wärmestrahlung 19, die von der Bearbeitungsposition  $X_P$ ,  $Y_P$  bzw. dem Brennfleck B ausgeht, abzuschwächen, an dem die maximale Intensität der Wärmestrahlung 19 emittiert wird. Die Filtereinrichtung 26 kann zu diesem Zweck als Bandpassfilter ausgebildet sein, der für eine Wellenlänge, die der maximalen Emission eines schwarzen oder grauen Strahlers bei der Temperatur  $T_P$  von ca. 2000°C entspricht, nur eine geringe Transmission aufweist.

Entsprechend kann ggf. auch eine Filterung an den zweiten Pyrometer-Segmenten 21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d erfolgen. Für die Bestimmung der Temperatur  $T_P$  an der Bearbeitungsposition  $X_P$ ,  $Y_P$  sowie an weiteren Positionen (s.u.) in dem abgebildeten Teilbereich 16 des Bearbeitungsfelds 8 kann es günstig sein, wenn die Filtereinrichtung 26 als Bandpassfilter ausgebildet ist, der so ausgelegt ist, dass dieser Wärmestrahlung 19 bei zwei unterschiedlichen Wellenlängen transmittiert, die für ein jeweiliges Pyrometer-Segment 20, 21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d getrennt detektiert werden, um auf diese Weise direkt, d.h. ohne die Kenntnis der Emissivität, auf die Temperatur  $T_P$  an der Bearbeitungsposition  $X_P$ ,  $Y_P$  oder an anderen Positionen zu schließen.

Die Pyrometer-Segmente 20, 21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d der strukturierten Diode 17 können alternativ oder zusätzlich zur Verwendung von Filtereinrichtungen 26 aus unterschiedlichen Materialien hergestellt sein, genauer gesagt aus Materialien, die eine unterschiedliche wellenlängenabhängige Empfindlichkeit für die von dem Teilbereich 16 des Bearbeitungsfelds 8 ausgehende Wärmestrahlung 19 aufweisen. Bei dem in Fig. 3a gezeigten Beispiel weist das erste Pyrometer-Segment 20 eine maximale Empfindlichkeit bei einer Maximums-Wellenlänge  $\lambda_{1MAX}$  auf, welche an die Wellenlänge maximaler Emission von Wärmestrahlung 19 eines schwarzen bzw. grauen Strahlers mit einer Temperatur von. ca. 2000°C angepasst ist. Die zweiten Pyrometer-Segmente 21a-d in dem ersten Ringbereich R1 weisen demgegenüber eine maximale Empfindlichkeit bei einer (größeren) Maximums-Wellenlänge  $\lambda_{2MAX}$  auf, die an die entsprechend geringeren Temperaturen der Wärmestrahlung 19 angepasst ist, die auf die zweiten Pyrometer-Segmente 21a-d in dem ersten Ringbereich R1 auftrifft. Die Maximums-Wellenlänge  $\lambda_{1MAX}$  des ersten Pyrometer-Segments 20 ist kleiner als die Maximums-Wellenlänge  $\lambda_{2MAX}$  der zweiten Pyrometer-Segmente 20 in dem ersten Ringbereich R1. Entsprechend können auch die Pyrometer-Segmente 22a-d in dem zweiten Ringbereich R2 eine maximale Empfindlichkeit bzw. eine Maximums-Wellenlänge aufweisen, die größer ist als die Maximums-Wellenlänge  $\lambda_{2MAX}$  der zweiten Pyrometer-Segmente 20 in dem ersten Ringbereich R1, usw.

In Fig. 2 sind vier Positionen  $X_{P+4}, Y_P; X_{P+3}, Y_P; X_{P+2}, Y_P; X_{P+1}, Y_P$  dargestellt, die sich in Vorschubrichtung  $v_R$  (entsprechend der Scanrichtung) vor der Bearbeitungsposition  $X_P, Y_P$  befinden, sowie vier Positionen  $X_{P-1}, Y_P; X_{P-2}, Y_P; X_{P-3}, Y_P; X_{P-4}, Y_P$  die sich entlang der Vorschubrichtung  $v_R$  hinter der Bearbeitungsposition  $X_P, Y_P$  befinden. Die in Fig. 2 gezeigten Positionen  $X_{P+4}, Y_P; X_{P+3}, Y_P; X_{P+2}, Y_P, X_{P+1}, Y_P$  bzw.  $X_{P-1}, Y_P; X_{P-2}, Y_P; X_{P-3}, Y_P; X_{P-4}, Y_P$  genauer gesagt deren jeweilige Abstände von der Bearbeitungsposition  $X_P, Y_P$ , sind im gezeigten Beispiel derart gewählt, dass diese sich ungefähr in der Mitte der in Fig. 3a links dargestellten zweiten Pyrometer-Segmente 21a, 22a, 23a, 24a bzw. ungefähr in der Mitte der in Fig. 3a rechts dargestellten zweiten Pyrometer-Segmente 21c, 22c, 23c, 24c befinden. Für die jeweilige Position  $X_{P+4}, Y_P; X_{P+3}, Y_P; X_{P+2}, Y_P; X_{P+1}, Y_P$  in Vorschubrichtung  $v_R$  vor der Bearbeitungsposition  $X_P, Y_P$  kann anhand der auf das jeweilige zweite Pyrometer-

Segment 21a, 22a, 23a, 24a auftreffenden Wärmestrahlung 19 die zugehörige Temperatur  $T_{P+4}$ ,  $T_{P+3}$ ,  $T_{P+2}$ ,  $T_{P+1}$  in einer Auswerteeinrichtung 28 (vgl. Fig. 1) der Bestrahlungseinrichtung 1 bestimmt werden. Entsprechend kann auch für eine jeweilige Position  $X_{P-1}$ ,  $Y_P$ ;  $X_{P-2}$ ,  $Y_P$ ;  $X_{P-3}$ ,  $Y_P$ ;  $X_{P-4}$ ,  $Y_P$  in Vorschubrichtung  $v_R$  nach der Bearbeitungposition  $X_P$ ,  $Y_P$  anhand der auf das jeweilige zweite Pyrometer-Segment 21c, 22c, 23c, 24c auftreffenden Wärmestrahlung 19 die zugehörige Temperatur  $T_{P-1}$ ,  $T_{P-2}$ ,  $T_{P-3}$ ,  $T_{P-4}$  in der Auswerteeinrichtung 28 bestimmt werden.

Die Auswerteeinrichtung 28 ist ausgebildet, anhand der von der Steuer- und/oder Regeleinrichtung 29 vorgegebenen Vorschubrichtung  $v_R$ , die der Auswerteeinrichtung 28 bekannt ist, diejenigen zweiten Pyrometer-Segmente 21a, 22a, 23a, 24a zu identifizieren, die bei der momentanen Vorschubrichtung  $v_R$  vor der Bearbeitungposition  $X_P$ ,  $Y_P$  positioniert sind, sowie diejenigen zweiten Pyrometer-Segmente 21c, 22c, 23c, 24c, die bei der momentanen Vorschubrichtung  $v_R$  hinter der Bearbeitungposition  $X_P$ ,  $Y_P$  angeordnet sind. Es versteht sich, dass beispielsweise bei einer Drehung der Vorschubrichtung  $v_R$  um  $90^\circ$  gegenüber der in Fig. 3a gezeigten Vorschubrichtung  $v_R$  jeweils die in Fig. 3a oben angeordneten zweiten Pyrometer-Segmente 21b, 22b, 23b, 24b bzw. die in Fig. 3a unten angeordneten zweiten Pyrometer-Segmente 21d, 22d, 23d, 24d für die Bestimmung der jeweiligen Temperaturen herangezogen werden. Auch für den Fall, dass die Vorschubrichtung  $v_R$  wie in Fig. 3a dargestellt verläuft, können die in Fig. 3a oben angeordneten zweiten Pyrometer-Segmente 21b, 22b, 23b, 24b bzw. die in Fig. 3a unten angeordneten zweiten Pyrometer-Segmente 21d, 22d, 23d, 24d zur Bestimmung von Temperaturen bzw. von Temperaturgradienten  $\Delta T$  quer bzw. im Wesentlichen quer zur Vorschubrichtung  $v_R$  verwendet werden. Dies ist insbesondere bei einem flächigen Aufschmelzen des Pulverbetts günstig, bei dem mehrere Wärmespuren erzeugt werden, die benachbart und parallel zueinander verlaufen, so dass auf diese Weise auch die noch nicht vollständig abgekühlten benachbarten Wärmespuren von der Auswerteeinrichtung 28 ausgewertet werden können.

Die Auswerteeinrichtung 28 kann auch zur Bestimmung von Temperaturgradienten  $\Delta T$  anhand der jeweiligen Temperaturen  $T_{P+4}$ ,  $T_{P+3}$ ,  $T_{P+2}$ ,  $T_{P+1}$ ,  $T_P$ ,  $T_{P-1}$ ,  $T_{P-2}$ ,  $T_{P-3}$ ,  $T_{P-4}$  herangezogen werden, beispielsweise indem die Differenz zwischen zwei der

Temperaturen, z.B.  $T_{P+4} - T_{P+3}$ , gebildet wird und diese Differenz durch den (aufgrund des Abbildungsmaßstabs der Abbildungseinrichtung 9 bekannten) Abstand  $A$  zwischen den beiden zugehörigen Positionen  $X_{P+4}$ ,  $X_{P+3}$  in dem Bearbeitungsfeld 8 dividiert wird:  $\Delta T = (T_{P+4} - T_{P+3}) / A$ .

5

Mit Hilfe der Steuer- und/oder Regeleinrichtung 29 kann der Schweißprozess anhand der mindestens einen von der Auswerteeinrichtung 28 bestimmten Temperatur  $T_{P+4}$ ,  $T_{P+3}$ ,  $T_{P+2}$ ,  $T_{P+1}$ ,  $T_P$ ,  $T_{P-1}$ ,  $T_{P-2}$ ,  $T_{P-3}$ ,  $T_{P-4}$  und/oder eines jeweiligen Temperaturgradienten  $\Delta T$  geregelt werden, beispielsweise indem die Leistung  $P$  des Laserstrahls 3 und/oder die Vorschubgeschwindigkeit  $v_R$  so eingestellt werden, dass eine oder mehrere der Temperaturen  $T_{P+4}$ ,  $T_{P+3}$ ,  $T_{P+2}$ ,  $T_{P+1}$ ,  $T_P$ ,  $T_{P-1}$ ,  $T_{P-2}$ ,  $T_{P-3}$ ,  $T_{P-4}$  bzw. einer oder mehrere Temperaturgradienten  $\Delta T$  in einem vorgegebenen Wertebereich liegen. Die Bestimmung von Temperaturgradienten  $\Delta T$  insbesondere im Bereich der Wärmespur hat sich als günstig erwiesen, um die thermische Historie und damit die Mikrostruktur des Materialgefüges des dreidimensionalen Werkstücks zu bestimmen. Die Regelung des Schweißprozesses mit Hilfe der Steuer- und/oder Regeleinrichtung 29 kann in Echtzeit erfolgen, es ist aber auch möglich, dass die Regelung schichtweise erfolgt, d.h. der Temperaturgradient  $\Delta T$ , beispielsweise in Form der Abkühlrate, wird für eine gesamte aufgebrauchte Pulverschicht 3 bestimmt, um festzustellen, wie viel Wärme im Bauteil bzw. im Pulverbett beim Aufschmelzen einer Pulverschicht 3 des Pulverbetts gespeichert wird. Für das Aufschmelzen der nachfolgenden Pulverschicht 3 können andere Bearbeitungsparameter verwendet werden, d.h. es können beispielsweise die Laserleistung  $P$  und/oder die Vorschubgeschwindigkeit  $v_R$  geeignet angepasst werden.

25

Insbesondere für den Fall, dass das Pyrometer 17 eine Vielzahl von zweiten Pyrometer-Segmenten 25 aufweist, kann die Steuer- und/oder Regeleinrichtung 29 auch dazu dienen, die von der Auswerteeinrichtung 28 gelieferten Informationen über die noch nicht vollständig abgekühlten benachbarten Wärmespuren zu verwenden, um die Regelung von Bearbeitungsparametern, beispielsweise der Leistung  $P$  des Bearbeitungslaserstrahls 3 und/oder der Vorschubgeschwindigkeit  $v_R$ , bei der Erzeugung der momentanen Wärmespur zu verwenden. Eine solche Regelung erfolgt nicht in Echtzeit und ist daher einfach umsetzbar.

30

Es versteht sich, dass der Teilbereich 16 des Bestrahlungsbereichs 8, der von der Abbildungseinrichtung 9 auf das Pyrometer 17 abgebildet wird, auch größer als in Fig. 2 dargestellt ausfallen kann, so dass auch die in Fig. 2 rechts neben dem Schmelzbad S befindliche Wärmespur auf das Pyrometer 17 abgebildet wird. Der Durchmesser des Teilbereichs 16 kann beispielsweise zwischen ca. 2 mm und ca. 10 mm variieren. Die Abbildungseinrichtung 9 kann ggf. als Zoom-Objektiv ausgebildet sein, um unterschiedliche Abbildungsmaßstäbe zu realisieren.

Fig. 3b zeigt ein weiteres Beispiel für ein Pyrometer 17 in Form einer segmentierten Diode, welches sich von dem in Fig. 3a gezeigten Beispiel dadurch unterscheidet, dass die zweiten Pyrometer-Segmente 25 in fünf Ringbereichen R1 bis R5 um das zentrale erste Pyrometer-Segment 20 herum angeordnet sind. Bei dem in Fig. 3b gezeigten Beispiel sind um das erste Pyrometer-Segment 20 einhundertneunundneunzig zweite Pyrometer-Segmente 25 angeordnet, deren Flächeninhalt im gezeigten Beispiel jeweils gleich groß ist. Die Unterteilung der segmentierten Diode 17 in eine größere Anzahl von Pyrometer-Segmenten 20, 25 insbesondere in Umfangsrichtung ist vorteilhaft, um die Ortsauflösung zu erhöhen und auf diese Weise zu vermeiden, dass Wärmestrahlung 19 von noch nicht vollständig erkaltetem Werkstückmaterial bzw. Pulver, das bei einem vorhergehenden Schweißprozess erzeugt wurde, die Temperaturmessung entlang der Vorschubrichtung  $v_R$  beeinflusst.

Die Fig. 3a,b gezeigte segmentierte Diode 17 zeichnet sich durch einen hohen Füllfaktor, eine aufgrund des monolithischen Designs hohe Stabilität sowie durch die Möglichkeit aus, auf eine ökonomische Weise eine Vielzahl von Pyrometer-Segmenten zu realisieren. Gegebenenfalls kann das Pyrometer zusätzlich zu der in Fig. 3a bzw. in Fig. 3b gezeigten segmentierten Diode 17 weitere Dioden bzw. wärmeempfindliche Sensoren aufweisen, die dazu dienen, Wärmestrahlung 19 von weiter von der Bearbeitungsposition  $X_P$ ,  $Y_P$  entfernten Bereichen des Bearbeitungsfeldes 8 zu detektieren.

Fig. 4 zeigt ein Beispiel für ein Pyrometer 17, welches sich von den in Fig. 3a,b gezeigten Pyrometer 17 zunächst dadurch unterscheidet, dass das erste Pyrometer-Segment 20 und die zweiten Pyrometer-Segmente 21a, 21b, 22a, 22b, 23a, 23b in

drei Ringbereichen R1 bis R3 auf einer gemeinsamen Oberfläche 30 angeordnet sind. Zudem erstrecken sich die zweiten Pyrometer-Segmente 21a, 21b, 22a, 22b, 23a, 23b jeweils über einen Winkelbereich von  $180^\circ$ , was für die Zuordnung der zweiten Pyrometer-Segmente 21a, 21b, 22a, 22b, 23a, 23b zu (nicht gezeigten) Positionen vor bzw. hinter der Bearbeitungsposition  $X_P$ ,  $Y_P$  ausreichend ist, sofern die Vorschubrichtung  $v_R$  nicht exakt entlang der Grenze zwischen benachbarten Pyrometer-Segmenten 21a, 21b, 22a, 22b, 23a, 23b verläuft. Das erste Pyrometer-Segment 20 und die zweiten Pyrometer-Segmente 21a, 21b, 22a, 22b, 23a, 23b stehen jeweils über eine Strahlungstransporteinrichtung 31, 31a, 31b, ... mit einem Detektor in Form einer herkömmlichen Diode 32, 32a, 32b, ... in Verbindung, wie dies in Fig. 4 beispielhaft für das erste Pyrometer-Segment 20 sowie für die beiden Pyrometer-Segmente 21a, 21b des ersten Ringbereichs R1 dargestellt ist. Die Strahlungstransporteinrichtungen 31, 31a, 31b, ... ermöglichen ein räumlich getrenntes Auffangen der auf ein jeweiliges Pyrometer-Segment 20, 21a, 21b, 22a, 22b, 23a, 23b auftreffenden Wärmestrahlung 19.

Die Strahlungstransporteinrichtungen 31, 31a, 31b, ... sind geometrisch geeignet angeordnet, um Lichtleitkegel bzw. eine Lichtleitung zu der jeweiligen Diode 32, 32a, 32b, ... zu bilden und können beispielsweise auf Reflexion, Totalreflexion, Brechung oder auf diffraktiven Optiken basieren. Im gezeigten Beispiel werden als Strahlungstransporteinrichtungen 31, 31a, 32b, ... Lichtwellenleiter in Form von Fasern verwendet, welche zum räumlich getrennten Auffangen und Weiterleiten der Wärmestrahlung 19 von der Oberfläche 30 zu den in diesem Fall fasergekoppelten Standard-Dioden 32, 32a, 32b, ... dienen. Die Oberfläche 30, auf welche die Abbildungseinrichtung 9 die Wärmestrahlung 19 abbildet, kann beispielsweise die Stirnseite eines Multicore-Lichtwellenleiters, beispielsweise in Form eines Faserbündels, bilden, dessen Kerne wie in Fig. 4 gezeigt ist an ihrer Stirnseite ringförmig um ein Zentrum angeordnet sind. Der in Fig. 4 gezeigte Querschnitt bzw. die Stirnseiten der Pyrometer-Segmente 20, 21a, 21b, 22a, 22b, 23a, 23b können über unterschiedliche Lichtwellenleiter 31, 31a, 32b, ... des Multicore-Lichtwellenleiters in Form von Fasern mit beispielsweise kreisförmigen Querschnitt zu der jeweiligen Diode 32, 32a, 32b, ... geführt werden. Durch die Lichtwellenleiter 31, 31a, 32b, ... kann die Wärmestrahlung 19 auf die jeweilige Standard-Diode 32, 32a, 32b, ... geleitet werden.

Wie weiter oben im Zusammenhang mit Fig. 3a beschrieben wurde, können die Dioden 32, 32a, 32b, ... aus unterschiedlichen Materialien gebildet sein, die an die Wellenlänge maximaler Emission im jeweils zu erwartenden Temperaturbereich der auf die jeweiligen Pyrometer-Segmente 20, 21a, 21b, 22a, 22b, 23a, 23b  
5 auftreffenden Wärmestrahlung 19 angepasst sind. Beispielsweise kann die Diode 32, welche dem ersten Pyrometer-Segment 20 zugeordnet ist, eine kleinere Maximums-Wellenlänge  $\lambda_{1MAX}$  aufweisen als die Maximums-Wellenlänge  $\lambda_{2MAX}$  der beiden Dioden 32a, 32b, die den in dem ersten Ringbereich R1 angeordneten zweiten  
10 Pyrometer-Segmenten 21a, 21b zugeordnet sind. Bei dem in Fig. 4 gezeigten Beispiel wird gegenüber der Verwendung mehrerer nebeneinander angeordneter Dioden, die aufgrund von Anschlüssen etc. nicht unmittelbar benachbart angeordnet werden können, ein höherer Füllfaktor realisiert.

### Patentansprüche

1. Bestrahlungseinrichtung (1) zum Bestrahlen eines Bearbeitungsfelds (8) mit einem Bearbeitungsstrahl, insbesondere mit einem Laserstrahl (3), für das Durchführen eines Schweißprozesses, umfassend:  
eine Scannereinrichtung (4) zum Ausrichten des Bearbeitungsstrahls auf eine Bearbeitungsposition ( $X_P$ ,  $Y_P$ ) in dem Bearbeitungsfeld (8),  
gekennzeichnet durch  
eine Abbildungseinrichtung (9) zur Abbildung eines Teilbereichs (16) des Bearbeitungsfelds (8) auf ein Pyrometer (17), welches mindestens zwei Pyrometer-Segmente (20; 21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d; 25) aufweist,  
wobei die Abbildungseinrichtung (9) Wärmestrahlung (19), die von der Bearbeitungsposition ( $X_P$ ,  $Y_P$ ) in dem Bearbeitungsfeld (8) ausgeht, auf ein erstes Pyrometer-Segment (20) abbildet, und wobei die Abbildungseinrichtung (9) Wärmestrahlung (19), die von mindestens einer Position ( $X_{P+4}$ ,  $Y_P$ ;  $X_{P+3}$ ,  $Y_P$ ;  $X_{P+2}$ ,  $Y_P$ ;  $X_{P+1}$ ,  $Y_P$ ;  $X_{P-1}$ ,  $Y_P$ ;  $X_{P-2}$ ,  $Y_P$ ;  $X_{P-3}$ ,  $Y_P$ ;  $X_{P-4}$ ,  $Y_P$ ) in dem Bearbeitungsfeld (8) ausgeht, die sich entlang einer Vorschubrichtung ( $v_R$ ) des Bearbeitungsstrahls in dem Bearbeitungsfeld (8) vor oder hinter der Bearbeitungsposition ( $X_P$ ,  $Y_P$ ) befindet, auf mindestens ein zweites Pyrometer-Segment (21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d; 25) abbildet.
2. Bestrahlungseinrichtung nach Anspruch 1, bei welcher das erste Pyrometer-Segment (20) und das mindestens eine zweite Pyrometer-Segment (21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d; 25) an der Oberfläche (17a) einer strukturierten Diode (17) gebildet sind oder über eine jeweilige Strahlungstransporteinrichtung (31, 31a, 31b, ...) mit einem jeweiligen Detektor, insbesondere mit einer Diode (32, 32a, 32b, ...), in Verbindung stehen.
3. Bestrahlungseinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, weiter umfassend: eine zwischen dem Bearbeitungsfeld (8) und dem ersten Pyrometer-Segment (20) und/oder mindestens einem zweiten Pyrometer-Segment (21a-d, 22a-d, 23a-d,

24a-d; 25) angeordnete Filtereinrichtung (26) zur insbesondere wellenlängenabhängigen Abschwächung der von dem Bearbeitungsfeld (8) ausgehenden Wärmestrahlung (19).

4. Bestrahlungseinrichtung nach Anspruch 2 oder 3, bei welcher mindestens zwei der Pyrometer-Segmente (20, 21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d; 25) an der Oberfläche (17a) der strukturierten Diode (17) oder mindestens zwei der über eine jeweilige Strahlungstransporteinrichtung (31, 31a, 31b, ...) mit unterschiedlichen Pyrometer-Segmenten (20, 21a,b, 22a,b, 23a,b, 24a,b) verbundenen Detektoren (32, 32a, 32b, ...) eine unterschiedliche wellenlängenabhängige Empfindlichkeit für die von dem Bearbeitungsfeld (8) ausgehende Wärmestrahlung (19) aufweisen.
5. Bestrahlungseinrichtung nach Anspruch 4, bei welcher das erste Pyrometer-Segment (20) der strukturierten Diode (17) oder der mit dem ersten Pyrometer-Segment (20) verbundene Detektor (32) eine maximale Empfindlichkeit bei einer Maximums-Wellenlänge ( $\lambda_{1MAX}$ ) aufweist, die kleiner ist als die Maximums-Wellenlänge ( $\lambda_{2MAX}$ ) mindestens eines der zweiten Pyrometer-Segmente (21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d; 25) der strukturierten Diode (17) oder mindestens eines mit einem zweiten Pyrometer-Segment (21a, 21b) verbundenen Detektors (32a, 32b).
6. Bestrahlungseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher das erste Pyrometer-Segment (20) und/oder das zweite Pyrometer-Segment (21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d; 25) mindestens eine gekrümmte, insbesondere kreisbogenförmige Außenkante (27a,b) aufweisen.
7. Bestrahlungseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher das erste Pyrometer-Segment (20) kreisförmig ist.
8. Bestrahlungseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welche mindestens zwei zweite Pyrometer-Segmente aufweist, die als Ringsegmente (21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d; 25) ausgebildet sind.
9. Bestrahlungseinrichtung nach Anspruch 5, bei welcher die als Ringsegmente

(21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d; 25) ausgebildeten zweiten Pyrometer-Segmente dreh-symmetrisch um das erste Pyrometer-Segment (20) angeordnet sind.

10. Bestrahlungseinrichtung nach einem der Ansprüche 5 oder 6, bei welcher die zweiten Pyrometer-Segmente (21a-d, 22a-d, 23a-d, 24a-d; 25) in mehreren konzentrischen Ringen (R1 bis R4; R1 bis R5; R1 bis R3) angeordnet sind.
11. Bestrahlungseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher das Pyrometer (17) in einem koaxial zum Bearbeitungsstrahl (3) verlaufenden Beobachtungsstrahlengang (3a) angeordnet ist.
12. Bestrahlungseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiter umfassend: eine Steuer- und/oder Regeleinrichtung (29) zur Vorgabe der Vorschubrichtung ( $v_R$ ) bei der Bewegung des Bearbeitungsstrahls über das Bearbeitungsfeld (8).
13. Bestrahlungseinrichtung nach Anspruch 10, weiter umfassend: eine Auswerteeinrichtung (28), die ausgebildet ist, anhand der vorgegebenen Vorschubrichtung ( $v_R$ ) zweite Pyrometer-Segmente (21a, 22a, 23a, 24a, 25a), die in Vorschubrichtung ( $v_R$ ) vor der Bearbeitungsposition ( $X_P$ ,  $Y_P$ ) angeordnet sind, und zweite Pyrometer-Segmenten (21c, 22c, 23c, 24c, 25c), die in Vorschubrichtung ( $v_R$ ) hinter der Bearbeitungsposition ( $X_P$ ,  $Y_P$ ) angeordnet sind, zu identifizieren.
14. Bestrahlungseinrichtung nach Anspruch 11, bei der die Auswerteeinrichtung (28) zur Bestimmung einer Temperatur ( $T_P$ ) an der Bearbeitungsposition ( $X_P$ ,  $Y_P$ ), einer Temperatur ( $T_{P+4}$ ,  $T_{P+3}$ ,  $T_{P+2}$ ,  $T_{P+1}$ ;  $T_{P-1}$ ,  $T_{P-2}$ ,  $T_{P-3}$ ,  $T_{P-4}$ ) an einer Position ( $X_{P+4}$ ,  $Y_P$ ;  $X_{P+3}$ ,  $Y_P$ ;  $X_{P+2}$ ,  $Y_P$ ;  $X_{P+1}$ ,  $Y_P$ ) in dem Bearbeitungsfeld (8) vor der Bearbeitungsposition ( $X_P$ ,  $Y_P$ ) und/oder an einer Position ( $X_{P-1}$ ,  $Y_P$ ;  $X_{P-2}$ ,  $Y_P$ ;  $X_{P-3}$ ,  $Y_P$ ;  $X_{P-4}$ ,  $Y_P$ ) in dem Bearbeitungsfeld (8) hinter der Bearbeitungsposition ( $X_P$ ,  $Y_P$ ) und bevorzugt zur Bestimmung mindestens eines Temperaturgradienten ( $\Delta T$ ) anhand von mindestens zwei der Temperaturen ( $T_{P+4}$ ,  $T_{P+3}$ ) ausgebildet ist.
15. Bestrahlungseinrichtung nach Anspruch 12, bei welcher die Steuer- und/oder

Regeleinrichtung (29) ausgebildet ist, die Leistung (P) des Bearbeitungsstrahls in dem Bearbeitungsfeld (8) und/oder die Vorschubgeschwindigkeit ( $v_R$ ) anhand der mindestens einen von der Auswerteinrichtung (28) bestimmten Temperatur ( $T_{P+4}$ ,  $T_{P+3}$ ,  $T_{P+2}$ ,  $T_{P+1}$ ,  $T_P$ ,  $T_{P-1}$ ,  $T_{P-2}$ ,  $T_{P-3}$ ,  $T_{P-4}$ ) und/oder des Temperaturgradienten ( $\Delta T$ ) zu regeln.

16. Bearbeitungsmaschine (10) zum Herstellen von dreidimensionalen Bauteilen (11) durch Bestrahlen von Pulverschichten (12) mittels eines Bearbeitungsstrahls, insbesondere mittels eines Laserstrahls (3), wobei die Bearbeitungsmaschine (10) eine Bestrahlungseinrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche sowie eine Bearbeitungskammer (14) mit einem Träger (13) zum Aufbringen der Pulverschichten (12) aufweist.

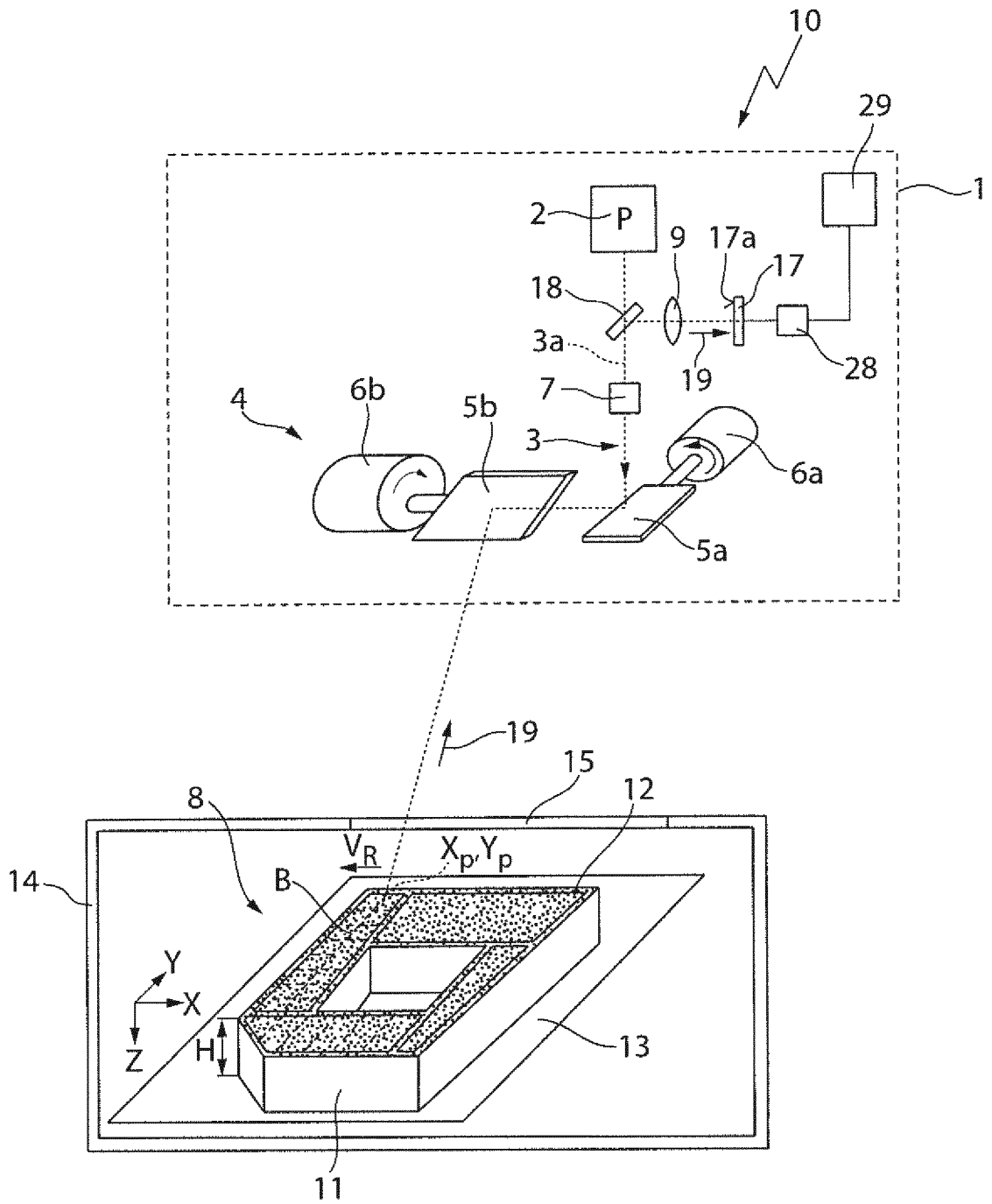


Fig. 1

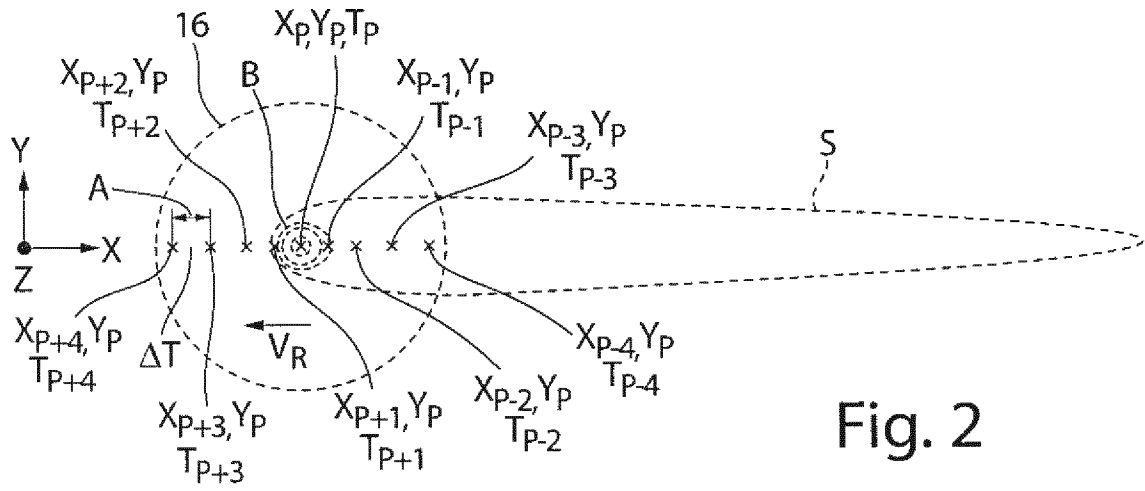


Fig. 2

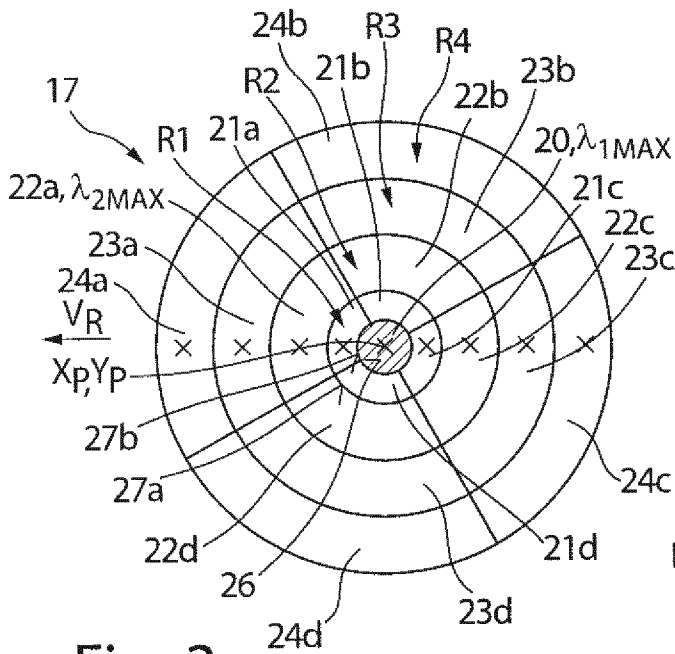


Fig. 3a

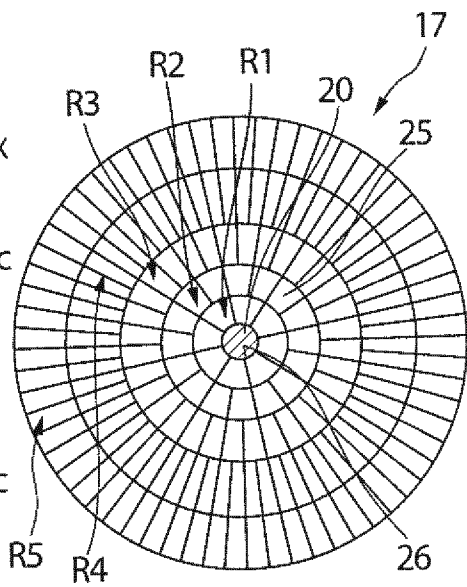


Fig. 3b

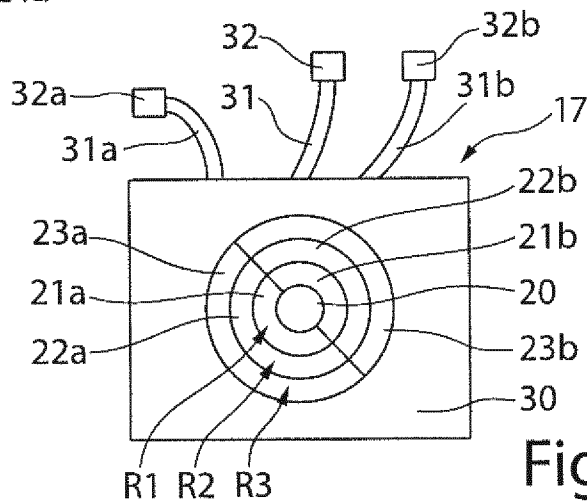


Fig. 4

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No  
PCT/EP2017/078811

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
 INV. B23K26/03 G01J5/00 G01J5/20 G01J5/60 B22F3/105  
 ADD.  
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED  
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
 B23K G01J B22F  
 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
 EPO-Internal, WPI Data

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	US 2010/086003 A1 (PFITZNER DIETER [DE] ET AL) 8 April 2010 (2010-04-08) abstract paragraphs [0030], [0057] figure 2 claim * -----	1-5, 12-15 16 6-11
Y A	US 2009/206065 A1 (KRUTH JEAN-PIERRE [BE] ET AL) 20 August 2009 (2009-08-20) abstract figures 1,2,5 paragraphs [0024], [0031], [0033], [0095] - [0097], [0101], [0102] -----	16 15
A	EP 0 934 797 A1 (LORRAINE LAMINAGE [FR]) 11 August 1999 (1999-08-11) the whole document -----	1-16

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search  12 March 2018	Date of mailing of the international search report  21/03/2018
--	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Perret, William
--	---

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/078811

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2010086003	A1	08-04-2010	CN 101730607 A 09-06-2010
			DE 102007024789 B3 23-10-2008
			US 2010086003 A1 08-04-2010
			US 2014269816 A1 18-09-2014
			WO 2008145237 A1 04-12-2008
-----			
US 2009206065	A1	20-08-2009	AT 466720 T 15-05-2010
			EP 2032345 A1 11-03-2009
			US 2009206065 A1 20-08-2009
			WO 2007147221 A1 27-12-2007
-----			
EP 0934797	A1	11-08-1999	AT 234173 T 15-03-2003
			BR 9900534 A 28-12-1999
			CA 2259104 A1 05-08-1999
			DE 69905777 D1 17-04-2003
			EP 0934797 A1 11-08-1999
			FR 2774319 A1 06-08-1999
			US 6177649 B1 23-01-2001
-----			

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2017/078811

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
INV. B23K26/03 G01J5/00 G01J5/20 G01J5/60 B22F3/105  
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
B23K G01J B22F

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X Y A	US 2010/086003 A1 (PFITZNER DIETER [DE] ET AL) 8. April 2010 (2010-04-08) Zusammenfassung Absätze [0030], [0057] Abbildung 2 Anspruch *	1-5, 12-15 16 6-11
Y A	US 2009/206065 A1 (KRUTH JEAN-PIERRE [BE] ET AL) 20. August 2009 (2009-08-20) Zusammenfassung Abbildungen 1,2,5 Absätze [0024], [0031], [0033], [0095] - [0097], [0101], [0102]	16 15
A	EP 0 934 797 A1 (LORRAINE LAMINAGE [FR]) 11. August 1999 (1999-08-11) das ganze Dokument	1-16

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen  Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
12. März 2018	21/03/2018

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter  Perret, William
--	--

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/078811

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2010086003 A1	08-04-2010	CN 101730607 A	09-06-2010
		DE 102007024789 B3	23-10-2008
		US 2010086003 A1	08-04-2010
		US 2014269816 A1	18-09-2014
		WO 2008145237 A1	04-12-2008
-----			
US 2009206065 A1	20-08-2009	AT 466720 T	15-05-2010
		EP 2032345 A1	11-03-2009
		US 2009206065 A1	20-08-2009
		WO 2007147221 A1	27-12-2007
-----			
EP 0934797 A1	11-08-1999	AT 234173 T	15-03-2003
		BR 9900534 A	28-12-1999
		CA 2259104 A1	05-08-1999
		DE 69905777 D1	17-04-2003
		EP 0934797 A1	11-08-1999
		FR 2774319 A1	06-08-1999
		US 6177649 B1	23-01-2001
-----			